

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月13日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21750143

研究課題名（和文） 膜界面作用がもたらす麻酔発現の機構解明

研究課題名（英文） Elucidation of anesthetic mechanism focused on the action to membrane interface

研究代表者

山本 靖（YAMAMOTO YASUSHI）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30335088

研究成果の概要（和文）：

「膜溶液滴下法」を用いて作成された水面上単分子膜の形態を表面張力測定および光学顕微鏡により調査するとともに、この単分子膜への麻酔薬作用機構を水晶振動子法により調査した。その結果、滴下法により、水面上に生体膜類似の膨潤な分子膜が形成されること、また麻酔薬作用により、単分子膜/水界面の粘性が変化（増加）することが分かった。これから、麻酔薬吸着による界面粘性変化が麻酔発現と関連のあることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

We have investigated the morphology of phospholipid monolayer formed on the water surface by "dropping method" using surface tension measurement and optical microscope (Brewster angle microscope), and the interaction between the monolayer and anesthetic molecules using quartz crystal oscillator (QCO) method (quartz crystal microbalance (QCM) and quartz crystal impedance (QCI)). The QCO was attached horizontally to the monolayer on the water surface and we also focused on the resistance (corresponding to the interfacial viscosity) change on the QCI measurement. It is found that (1) the "dropping method" forms 'fluidic' monolayer similar to membrane on the water surface compared to that by general compression method, and (2) the anesthetic molecules physisorb on the monolayer/water interface (QCM) and change (increase) in the interfacial viscosity of the interface (QCI). The anesthetic concentration dependence also showed the two-step change on both physisorption and viscosity. These results suggest that the "dropping method" is useful one for forming *membrane-like* monolayer on the water surface, and the condensation process of monolayer by the physisorption of anesthetic molecules concerns closely on the anesthetic phenomenon; the condensation of membrane by anesthetic molecules decreases the membrane function.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：膜・集合体

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

麻酔は、歴史的には「壊疽四肢や腫瘍の切断」「裂傷の縫合」等の処置を行なう際、苦痛を軽減するという必要性から発生したと考えられている。その手段として、(1)鎮痛法、(2)意識喪失法、の2つの方向性で、これまで様々な試行と工夫がなされ、より優れた麻酔方法の開発へと進展してきた。現在では、単に手術時の除痛にとどまらず、生体への侵襲に対する生体の反応を制御し、また生体を管理する臨床医学「侵襲制御医学」として位置づけられている。

麻酔に要求される条件は上述のように具体的であり、条件が満たされれば基本的には全ての手術が可能である。しかし、その発現機構については、麻酔薬が生体膜の脂質部に溶解するというリポイド仮説 (Meyer and Overton, 1901 年) を始め、様々な麻酔理論が展開されてきたものの、未だ解明されていないのが現状である。最近では、麻酔薬が膜タンパク質に直接作用するというタンパク質理論が流行しているが、これも現象を分析し対応する受容体を同定して済ませているにとどまっておき、真の発現機構には迫っていない。現代科学の目覚ましい進歩は、薬物の作用機構も分子レベルで解明しつつあるが、麻酔薬はこの進歩からあたかも取り残されてしまっている。

麻酔薬は、一般薬物とは異なったユニークな側面をもっている。図1は実際に臨床で用いられる麻酔薬であるが、一見、分子構造上、類似性がない物質群である。共通する特徴は、弱い双極子をもつ疎水性分子であること、水中では水分子に取り囲まれた水和物（包接化合物）を形成すること、である。つまり、化学的特性のない種々の物質が、全く同じ麻酔効果を引き起こす。一方、生体膜は流動モザイクモデルやラフトモデルに代表されるような動的（不均質）構造をもつ。その構造は生体膜／体液界面に存在する「膜界面水和水」とよばれる、水素結合で弱く形成された2次元水と構造体によって保持され、これが生体膜の機能発現に重要な役割を果たす。麻酔薬の薬物効果は mM オーダーの高体内濃度であり、また投与濃度に応じてその効果に可逆性が見られることから、麻酔現象は一般薬物のような 1:1 吸着作用（化学吸着）ではなく、麻酔薬集合体が生体膜近傍に作用する物理吸着的描像であると考えられる。このことは、麻酔発現の機構解明が、医学にとどまらず科学、特に界面化学の立場からもアプローチできることを指し示すものである。

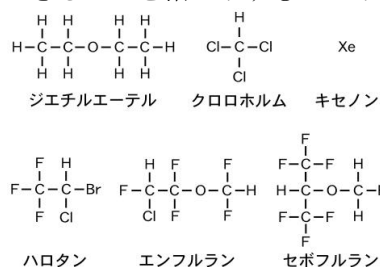


図1 実際に臨床で用いられる麻酔薬の分子構造。疎水的ということを除いて、これらの分子間に構造の類似性は全く見当たらない。

2. 研究の目的

私は、膜界面水和水に麻酔薬の水和物が集合体となって作用（拮抗）することにより引き起こされる「膜界面水和水の解放」とこれに伴う「膜界面の物性変化」が麻酔発現の根源であると仮説を立て、本研究では、麻酔の発現機構を麻酔薬の膜界面作用に着目して解明することを目的として研究を行なった。具体的には、水面上に作成された分子膜を生体膜に見立て、この膜／水界面への麻酔薬の作用について、界面化学的手法である3つの方法、(1)水晶振動子法、(2)表面張力法、(3)光学顕微鏡、により調査し、膜界面という反応場での麻酔薬の作用特性を分子論的に明らかにした。

3. 研究の方法

本研究では上述のように、3つの界面化学的手法を用いた。

(1)水晶振動子法

水晶振動子法は、界面現象における様々な物性を調査するのに有用な手法である。水晶振動子法は主に次の2種類、水晶振動子マイクロバランス (quartz crystal microbalance: QCM) と水晶振動子インピーダンス (quartz crystal impedance: QCI) に分類される。QCM は、水晶振動子上に吸着した物質の質量に比例して固有振動数が減少することを利用した手法であり、吸着重量をナノグラムオーダーで検出することが可能である。また QCI は、水晶振動子を電気的等価回路 ( $R, C, L$ ) に置き換え、インピーダンス測定によりこれららを評価する手法である。 $R, C, L$  はそれぞれ、 $R$  が水晶振動子に接している接触（吸着）層の粘性、 $C$  が吸着層の弾性、そして  $L$  が吸着層の重量を表す。QCM では検出できない吸着層の粘弾性効果を吸着量とは独立に評価できる手法として、最近特に注目を集めている。本研究では、これら QCM と QCI の特徴を分子膜／水界面という反応場に適用し、麻酔薬の界面への作用（吸着）とこれに伴う界面の粘弾性変化に着目して詳細に調査を行なった。なお、QCI においては、界面粘性変化に対応する抵抗値  $R$  に着目した。

(2)表面張力法

表面張力法は、液体表面（気／液界面）における表面エネルギー（表面張力）を測定するものであるが、プレート法 (Wilhelmy 法) を用いることにより、水面上に作成する分子膜の表面圧力（表面圧）も測定できる有用な手法である。分子膜への麻酔薬の作用特性を明らかにするためには、生体膜類似の膨潤な分子膜を水面上に作成する必要がある。そこで、新規に開発した「膜溶液滴下法」（水面上に膜溶液を滴下し続けて分子膜（自然展開膜）を作成する方法）により作成した水面上分子膜について、表面張力測定装置を用いて、マクロな視点で詳細に調査し、作用特性との関連を追究した。

(2)光学顕微鏡

光学顕微鏡は、対象物に光を照射し、透過光または反射光を集光して、対象物を拡大して観察するものである。麻酔薬の作用特性の解明に適切な、膨潤な分子膜を作成するため

には、上述の表面張力法での調査のみでは不十分であり、作成膜の集合形態をマイクロな視点からも調査する必要がある。そこで、光学顕微鏡の内、水面上分子膜の形成過程・形態をその場観察することのできるプリュースター角顕微鏡（本交付金にて購入）を用いて、膨潤な分子膜の集合形態を詳細に観察し、作用特性との関連を追究した。

#### 4. 研究成果

##### (1) DPPC 単分子膜の形態観察

本研究では、生体膜モデル物質として dipalmitoyl phosphatidyl choline (DPPC) を用いた (図 2)。DPPC は、生体膜の主要な構成成分の一つである。

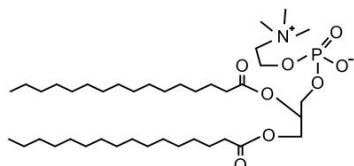


図 2 DPPC の分子構造。2 本のアルキル鎖（疎水基）とリン酸頭部（親水基）を併せ持つ、典型的な両親媒性分子。生体膜の主要な構成成分の一つである。

図 3 は、膜溶液滴下法により作成した DPPC 単分子膜についての表面張力測定結果（実線）である。横軸が DPPC 分子の占有面積、縦軸が表面圧力（表面圧）である。これは一般に  $\pi$ - $A$  曲線とよばれる ( $\pi$ : 表面圧力、 $A$ : 分子占有面積)。膜が形成されていく（曲線を右から左に進む）にしたがって、表面圧力が増加→停滞→再増加という経過をたどっていることが分かる。これから、滴下法においても液体膨張膜から液体凝集膜への相転移を観測することができた。一方、圧縮法による結果（点線）と比較すると、滴下法（実線）の方が曲線が右側であり、また極限分子占有面積も 3 割程度大きいことが分かった。

図 4 は図 3 の 4 点の表面圧力値 ((a): 4, (b): 8, (c): 12, (d): 42 mN/m) において、プリュースター角顕微鏡により観察を行なった結果である。表面圧力値が増加する ((a) → (d)) にしたがって、画像全体が明るくなり、密な膜が形成されていくことが分かった。また、(c) (膨張→凝集転移近傍) において、膜全体に黒い窪みのある斑模様の画像が得られた。圧縮法の場合、人工的な力が加わるこ

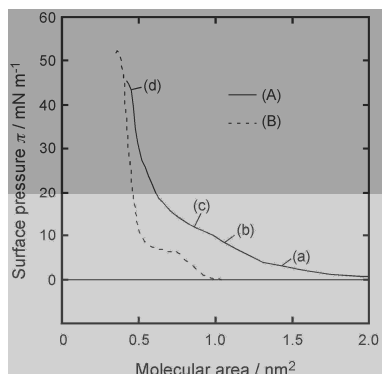


図 3 DPPC 単分子膜の表面圧力（表面圧）-分子占有面積曲線。A(実線): 滴下法、B(点線): 圧縮法。実線の方が分子占有面積が大きく、膨潤な分子膜が水面上に形成されたことが分かる。

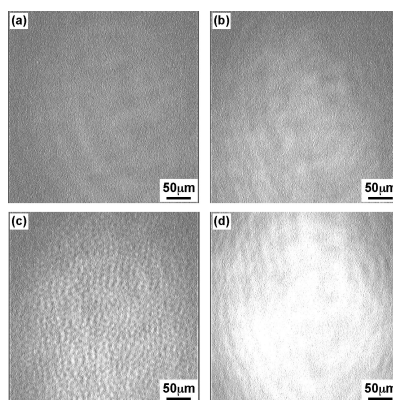


図 4 図 2 の 4 点 ((a): 4, (b): 8, (c): 12, (d): 42 mN/m) におけるプリュースター角顕微鏡による観察結果。(a) → (d) にしたがって、画像全体が明るくなり、DPPC 単分子膜が形成されていくことが分かる。また (c) では、斑模様が観察され、膨潤な DPPC 単分子膜が形成されていることが裏付けされた。

とで、DPPC 分子が凝集した島状の膜が観察されるとともに、これらが集合して単分子膜が形成される。滴下法での本研究の場合、DPPC 分子の親水基と水分子とが最適な配置で水素結合したために、水分子を伴った膨潤な膜形態を辿って DPPC 単分子膜が形成されたものと考えられる。これから、滴下法を用いることで、生体膜類似の膨潤な単分子膜が水面上に形成され、この単分子膜が理想的なモデル生体膜であることが分かった。

これらの結果については、学会発表を行なうとともに、現在、論文投稿中である。

##### (2) DPPC 単分子膜への麻酔薬エンフルランの作用効果

図 5 は、水面上 DPPC 単分子膜に種々の濃度の麻酔薬エンフルランを水中から作用させた時の、QCM による振動数変化量 ( $\Delta f$ ) の時間依存性を示している。A の時刻において、エンフルランを水中に添加している。グラフより、測定した全ての濃度において、エンフルラン添加後およそ 1 時間程度経過してから、 $\Delta f$  が減少していることが分かる。これから、エンフルランが DPPC 単分子膜/水界面に吸着することが分かった。

図 6 は、水面上 DPPC 単分子膜に種々の濃度の麻酔薬エンフルランを水中から作用させた時の、QCI による抵抗値変化量 ( $\Delta R$ ) の時間依存性を示している。B の時刻において、エンフルランを水中に添加している。グラフより、3 mM 以上の濃度において、エンフルラン添加後およそ 1 時間程度経過してから、 $\Delta R$  が増加していることが分かる。これから、エンフルランが DPPC 単分子膜/水界面の粘性を変化（増加）させることが分かった。

図 7 は、DPPC 単分子膜へのエンフルラン作用の濃度依存性を表わしている。エンフルラン濃度の増加に伴い吸着量 ( $-\Delta F$ ) は増加し、一旦飽和値に達した後、さらに不連続に増加していることが分かる。一方、界面粘性 ( $\Delta R$ ) は、エンフルランがある程度吸着してから増加し始め、一旦飽和値に達した後、さらに不連続に変化（増加）していることが分かる。

図 5・図 6・図 7 から、次のような考察を行なった。DPPC 単分子膜/水界面には「界

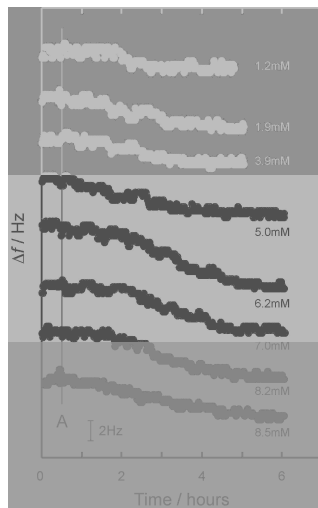


図5 DPPC 単分子膜に種々の濃度のエンフルランを作用させた時の、OCMにおける振動数変化量 ( $\Delta f$ ) の時間依存性。Aの時刻でエンフルランを添加している。添加後、1時間程度経過してから、 $\Delta f$ が減少していることが分かる。

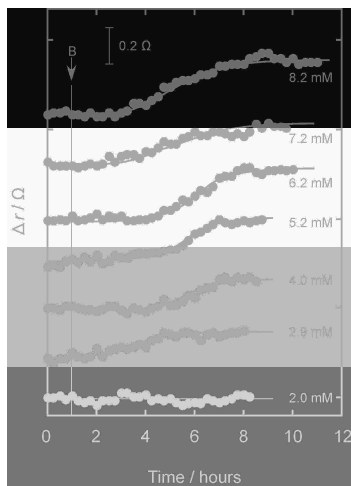


図6 DPPC 単分子膜に種々の濃度のエンフルランを作用させた時の、QCIにおける抵抗値変化量 ( $\Delta r$ ) の時間依存性。Bの時刻でエンフルランを添加している。3 mM 以上の濃度において、添加後、1時間程度経過してから、 $\Delta r$ が増加していることが分かる。

面水和水」とよばれる、水素結合で弱く形成された2次元水和構造体があり、エンフルランがこの構造体に吸着する。エンフルラン吸着量の増加に伴い、構造体との相互作用力が増加するとともに、この構造体の再構築が生じる。つまり、界面水和水が「解放」され、界面がエンフルランを含む複合体となったことで、「界面粘性」が変化(増加)したと考えられる。 $-\Delta F$ と $\Delta R$ どちらも飽和値に達したのは、エンフルランの界面吸着量が飽和値に達したためであり、さらなる不連続変化はエンフルランの多層吸着によるものと考えられる。

以上の結果・考察から、麻酔薬は生体膜内部へ浸透するのではなく、生体膜/体液界面に物理吸着すること、また単に吸着だけでなく、界面物性も変化させることが分かり、私は特にこの「界面物性変化」が麻酔発現と密接に関連していると結論づけた。

これらの結果については、学会発表を行

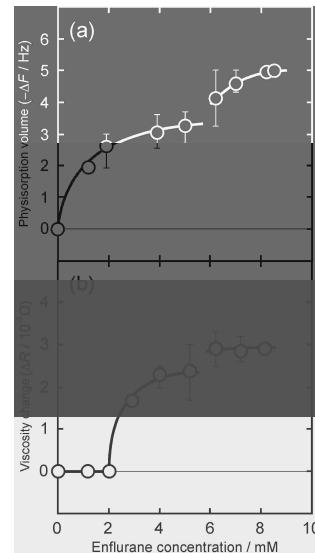


図7 DPPC 単分子膜へのエンフルラン作用の濃度依存性。(a)はエンフルランの吸着量 ( $-\Delta F$ ) を、(b)は単分子膜/水界面の粘性変化 ( $\Delta R$ ) を表す。変化開始濃度が $\Delta F$ と $\Delta R$ で異なっていることが分かる。

なうとともに、論文発表を行なった。

### (3) DPPC-Chol 混合単分子膜への麻酔薬エンフルランの作用効果

コレステロール (Chol) は、生体膜内の脂質分子の側方拡散やドメイン構造形成において重要な役割を果たしている。そこで、より生体膜の実態に即した分子膜を水面上に作成するために、(2)で用いた DPPC 単分子膜に Chol を混合し、DPPC-Chol 混合単分子膜へのエンフルランの作用効果について、(2)と同様、OCM と QCI により調査を行った。その結果、エンフルラン濃度の増加に伴い、OCM では吸着量が増加するとともに一旦飽和値に達し、さらに増加した。これは DPPC 単体の場合と同様な結果であったが、吸着量の絶対値は小さい値となった。一方、QCI では OCM での初期飽和値に近い濃度において、界面粘性が不連続に増加し、その後は一定値となった。これは DPPC 単体の場合と大きく異なる点であった。DPPC-Chol 混合単分子膜は、Chol の凝集効果により流動性が失われた膜が形成されていることが、表面張力測定およびブリュースター角顕微鏡観察により分かっている。これから、エンフルラン分子が膜/水界面に吸着しにくくなるとともに、エンフルラン分子吸着による界面粘性変化も小さくなったものと考えられる。これらの結果および(2)の結果と合わせ、エンフルラン分子は膜/水界面の流動性が保持されている部分に選択的に吸着しやすく、界面粘性を変化させることが示唆された。

これらの結果については、学会発表を行なうとともに、現在、論文投稿中である。

### (4) DPPC 単分子膜への麻酔薬イソフルランの作用効果

(2)で用いたエンフルランと構造異性体の関係にあるイソフルランを用いて、(2)と同様、DPPC 単分子膜への作用効果について OCM と QCI により調査を行った。その結果、イソフルラン濃度の増加に伴い、OCM では吸着量が増加するとともに、一旦飽和値に達し、

さらに不連続に増加した。また QCI ではイソフルランがある程度吸着してから界面粘性が増加し始め、一旦飽和値に達した後、さらに不連続に変化(増加)した。これらの結果はエンフルランと同様のものとなったが、吸着量・界面粘性変化量どちらも、エンフルランより小さなものとなった。エンフルラン・イソフルランどちらも両親媒性分子であるが、エンフルランは親水性部分と疎水性部分が明確に分離していることから、疎水性に近い単分子膜/水界面にエンフルランの疎水性部分を向けて吸着することが可能であり、吸着しやすい構造を有していると考えられる。一方、イソフルランは親水性・疎水性が明確に分離していないことから、エンフルランよりも界面に吸着しにくく、このような構造上の違いが変化量の違いとなって現れたものと考えられる。

これらの結果については、学会発表を行なうとともに、現在、再現性も含めた応用実験を行なっている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① Z. Shervani, Y. Yamamoto: Carbohydrate-directed synthesis of silver and gold nanoparticles: Effect of the structure of carbohydrates and reducing agents on the size and morphology of the composites, *Carbohydrate Research*, 査読有, **346** (2011) 651-658.
- ② Y. Yamamoto, Z. Shervani, T. Shimoaki, D. Yoshida, T. Yokoyama, T. Yoshida, K. Taga, H. Kamaya, I. Ueda: Study of Physisorption of volatile anesthetics on phospholipid monolayers using a highly sensitive quartz crystal microbalance (HS-QCM), *Journal of Biophysical Chemistry*, 査読有, **2** (2011) 68-74.
- ③ Z. Shervani, Y. Yamamoto: Size and Morphology controlled synthesis of gold nanoparticles in green solvent: Effect of reducing agents, *Materials Letters*, 査読有, **65** (2010) 92-95.
- ④ Y. Yamamoto, Z. Shervani, T. Shimoaki, T. Yokoyama, T. Ando, A. Somekawa, M. Takayama, K. Tamaoki, T. Yoshida, K. Taga, H. Kamaya, I. Ueda: Physisorption behavior of enflurane on the dipalmitoyl phosphatidyl choline (DPPC) monolayer using high sensitive quartz crystal oscillator method, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, 査読有, **367** (2010) 47-51.
- ⑤ T. Tomita, T. Arai, Y. Yamamoto, A. Yoshino, K. Taga: Properties in aqueous solution of the systems for cetyltrimethylammonium bromide/phthalic acid and its sodium derivatives, *NCSS2010*, 査読無, (2010) 181.
- ⑥ D. Yoshida, T. Yokoyama, H. Mori, Y. Yamamoto, K. Taga, A. Sumino, T. Dewa, M. Nango, M. Yamamoto:

Morphological Observation of Lipid Monolayer Formed by "Spreading Method" Using Various Physicochemical Method, *NCSS2010*, 査読無, (2010) 161.

- ⑦ T. Yokoyama, D. Yoshida, T. Shimoaki, Y. Yamamoto, T. Yoshida, K. Taga: Changes in Monolayer Properties with Adsorption of Volatile Molecules Using Quartz Crystal Oscillator Methods, *NCSS2010*, 査読無, (2010) 151.
- ⑧ D. Yoshida, T. Shimoaki, T. Yokoyama, Y. Yamamoto, K. Taga, A. Sumino, T. Dewa, M. Nango, M. Yamamoto: Interaction between Various Lipid Monolayers and Volatile Enflurane using High-Sensitive Quartz Crystal Microbalance (HS-QCM) Method, *MAC2010*, 査読有, (2010) 26.
- ⑨ T. Yokoyama, T. Shimoaki, D. Yoshida, Y. Yamamoto, T. Yoshida, K. Taga: Action Mechanism of Inhalation Anesthetics on the Phospholipid Monolayers Using Physicochemical Methods, *MAC2010*, 査読有, (2010) 28.
- ⑩ 山本 靖: ナノレベル超微量物質検出装置の開発および微小空間での界面諸現象の解明 -麻酔作用の分子論的考察-, *東海化学工業会会報*, 査読有, **263** (2009) 15-17.

〔学会発表〕(計25件)

- ① 小枝周平・水野稔久・梅崎勝成・酒井俊介・近藤政春・山本靖・多賀圭次郎・出羽毅久・田中俊樹 ペプチドジェミニ型界面活性剤による膜タンパク質の可溶化、日本化学会第92回春季年会、20120325、横浜・日本
- ② 梅崎勝成・水野稔久・酒井俊亮・小枝周平・池田篤志・出羽毅久・山本靖・多賀圭次郎・田中俊樹・杉安和憲・竹内正之、ペプチド骨格を含むジェミニ型界面活性剤の新規合成と挙動評価、日本化学会第92回春季年会、20120327、横浜・日本
- ③ 富田隆志・山本靖・吉野明広・多賀圭次郎、セチルトリメチルアンモニウムブロミド/アルキル硫酸ナトリウム混合物水溶液におけるアルキル硫酸イオンのミセルへの吸着過程、日本化学会第92回年会、20120327、横浜・日本
- ④ 村門美佳・近藤己紗子・山本靖・多賀圭次郎・吉野明広、SDS水溶性ミセル形成におよぼすアミノ酸類の極性効果、日本化学会第92回春季年会、20120327、横浜・日本
- ⑤ 高橋寛子・山本靖・小野克彦・戸村正章・多賀圭次郎、ビス四級アンモニウム(4-14) - サリチル酸塩の構造と物性。中部化学関係学協会支部連合秋季大会、20111106、長野・日本
- ⑥ 吉田大輔・山本靖・多賀圭次郎、リン脂質単分子膜への揮発性麻酔薬の吸着機構、中部化学関係学協会支部連合秋季大会、20111105、長野・日本
- ⑦ 森博也・横山高視・山本靖・多賀圭次郎、リン脂質単分子膜への麻酔分子吸着による膜界面の物性変化、中部化学関係学協会支部連合秋季大会、20111105、長野・日本

- ⑧ 富田隆志・新井岳・山本靖・多賀圭次郎、一連のアルキルトリメチルアンモニウム酸塩水溶液物性のアルキル鎖長依存性、日本油化学会 フレッシュマンサミット OSAKA、20111105、大阪・日本
- ⑨ 富田隆志・宮本幸典・長谷川博高・新井岳・山本靖・吉野明広・多賀圭次郎、セチルトリメチルアンモニウム臭化物(CTAB)-サリチル酸ナトリウム(Sal Na)混合物水溶液におけるミセルの構造転移、第63回コロイドおよび界面化学討論会、20110908、京都・日本
- ⑩ 梅崎勝成・水野稔久・山本靖・多賀圭次郎・出羽毅久・南後守・田中俊樹、ペプチド骨格を含むジェミニ型界面活性剤の新規合成と挙動評価、日本化学会第91回春季年会、20110327、東京・日本
- ⑪ 富田隆志・山本靖・吉野明広・多賀圭次郎、セチルトリメチルアンモニウムプロミド/アルキル硫酸ナトリウム混合物の水溶液物性、日本化学会第91回春季年会、20110327、東京・日本
- ⑫ 高橋寛子・薛萃・山本靖・多賀圭次郎、一連のカチオン性ジェミニ型界面活性剤の水溶液物性、第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、20101106、豊橋・日本
- ⑬ Takashi Yokoyama, Daisuke Yoshida, Takatsugu Shimoaki, Yasushi Yamamoto, Tadayoshi Yoshida, Keijiro Taga, Changes in Monolayer Properties with Adsorption of Volatile Molecules Using Quartz Crystal Oscillator Methods, International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science, 20100920, Makuhari, Japan
- ⑭ Takashi Tomita, Takashi Arai, Yasushi Yamamoto, Akihiro Yoshino, Keijiro Taga, Properties in aqueous solution of the systems for cetyltrimethylammonium bromide/phthalic acid and its sodium derivatives, International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science, 20100921, Makuhari, Japan
- ⑮ Daisuke Yoshida, Takashi Yokoyama, Hiroya Mori, Yasushi Yamamoto, Keijiro Taga, Ayumi Sumino, Takehisa Dewa, Mamoru Nango, Masato Yamamoto, Morphological Observation of Lipid Monolayer Formed by "Spreading Method" Using Various Physicochemical Method, International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science, 20100920, Makuhari, Japan
- ⑯ 薛萃・高橋寛子・山本靖・多賀圭次郎、一連のジェミニ型界面活性剤の水溶液物性、日本油化学会第49回年会、20100916、函館・日本
- ⑰ 山本雅人・稲垣昌博・吉田大輔・横山高視・山本靖、DPPC水面上単分子膜中の炭化水素鎖の配向、第4回分子科学討論会、20100914、大阪・日本
- ⑱ Takashi Yokoyama, Takatsugu Shimoaki, Daisuke Yoshida, Yasushi Yamamoto, Tadayoshi Yoshida, Keijiro Taga, Action Mechanism of Inhalation

- Anesthetics on the Phospholipid Monolayers Using Physicochemical Methods, 8th International Conference on Mechanisms of Anesthesia, 20100616, Toronto, Canada
- ⑲ Daisuke Yoshida, Takatsugu Shimoaki, Takashi Yokoyama, Yasushi Yamamoto, Keijiro Taga, Ayumi Sumino, Takehisa Dewa, Mamoru Nango, Masato Yamamoto, Interaction between Various Lipid Monolayers and Volatile Enflurane using High-Sensitive Quartz Crystal Microbalance (HS-QCM) Method, 8th International Conference on Mechanisms of Anesthesia, 20100616, Toronto, Canada
- ⑳ 薛萃・吉田鉄平・加賀啓太・山本靖・多賀圭次郎、脂肪酸ナトリウム塩の振動スペクトル解析、第40回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、20091108、岐阜・日本
- ㉑ 山本靖、物理化学的手法によるリン脂質単分子膜への揮発性麻酔薬の作用機構、第47回日本生物物理学会年会、20091101、徳島・日本
- ㉒ 横山高視・下秋敬嗣・吉田大輔、玉置健太・染川明日香・山本靖・吉田忠義・多賀圭次郎・角野歩・出羽毅久・南後守、リン脂質-コレステロール混合単分子膜と揮発性麻酔分子 enflurane との相互作用、第62回コロイドおよび界面化学討論会、20090919、岡山・日本
- ㉓ 新井岳・小畑大介・山本靖・多賀圭次郎・安井孝志・湯地昭夫、セチルトリメチルアンモニウム-安息香酸誘導体塩の水溶液物性、第62回コロイドおよび界面化学討論会、20090919、岡山・日本
- ㉔ 新井岳・小畑大介・山本靖・多賀圭次郎・安井孝志・湯地昭夫、アルキルトリメチルアンモニウム-サリチル酸塩の水溶液物性、日本油化学会第48回年会、20090910、名古屋・日本
- ㉕ 山本靖、ナノレベル超微量物質検出装置の開発および微小空間での界面諸現象の解明、第44回東海化学工業会賞(学術賞)受賞講演会、20090514、名古屋・日本

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ach.nitech.ac.jp/%7Ephyschem/taga/0top.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 靖 (YAMAMOTO YASUSHI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：30335088